

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Mikrobiologi Pangan**

Mikrobiologi dalam bahasa Yunani diartikan *mikros* yang berarti kecil, *bios* yang artinya hidup, dan *logos* yang artinya kata atau ilmu. Mikrobiologi merupakan suatu istilah luas yang berarti studi tentang mikroorganisme, yaitu organisme hidup yang terlalu kecil untuk dapat dilihat dengan mata telanjang dan biasanya bersel tunggal (Budiyanto, 2002:1). Mikrobiologi dalam konteks pembagian ilmu modern mencakup studi tentang bakteri (bakteriologi), jamur (mikologi), dan virus (virologi) (Budiyanto, 2002:1).

Mikrobiologi pangan adalah salah satu cabang mikrobiologi yang mempelajari bentuk, sifat, dan peranan mikroorganisme dalam rantai produksi pangan baik yang menguntungkan maupun yang merugikan seperti kerusakan pangan dan penyebab penyakit bawaan pangan (Sopandi dan Wardah, 2014:2). Rantai produksi pangan yang dimaksud diatas adalah sejak pemanenan, penangkapan, penyembelihan, penanganan, penyimpanan, pengolahan, distribusi, pemasaran, penghidangan hingga pangan siap untuk dikonsumsi. Bidang mikrobiologi pangan sebelum tahun 1970 dikenal sebagai suatu aplikasi ilmu yang terlibat dalam kontrol kualitas mikrobiologis pangan. Bidang mikrobiologi pangan tidak hanya menyangkut aspek mikrobiologi kerusakan, penyakit bawaan, dan kontrol efektif pengolahan pangan, tetapi juga menyangkut informasi dasar ekologi, fisiologi, metabolisme, dan genetika mikroba (Sopandi dan Wardah, 2014:2).

Kelompok mikroorganisme dalam pangan terdiri atas beberapa spesies dan strain bakteri, khamir, kapang, dan virus yang berperan penting dalam pangan karena kemampuannya. Kemampuan tersebut menyebabkan kerusakan dan penyakit bawaan pangan, serta digunakan untuk produksi pangan dan aditif pangan. Menurut Sopandi dan Wardah (2014:15) di antara 4 kelompok mikroorganisme pangan, bakteri merupakan kelompok terbesar. Hal itu disebabkan karena bakteri dapat berada di hampir semua jenis pangan dengan laju pertumbuhan yang tinggi, bahkan pada pangan yang tidak dapat ditumbuhi oleh khamir dan kapang. Bakteri juga merupakan kelompok mikroorganisme paling penting yang menyebabkan kerusakan pangan dan menimbulkan penyakit bawaan pangan (Sopandi dan Wardah, 2014:16).

## **2.2 Analisis Mikrobiologi Pangan**

Analisis mikrobiologi pangan adalah analisa yang digunakan untuk mengidentifikasi mikroorganisme pada sampel uji pangan melalui pengujian laboratorium. Pengujian laboratorium dilakukan dalam rangka pengawasan mutu secara mikrobiologis untuk menghitung jumlah koloni, mengisolasi, dan mengidentifikasi cemaran bakteri patogen yang mungkin ada (Sudian, 2008:3). Pengujian sampel makanan akan selalu mengacu kepada persyaratan makanan yang sudah ditetapkan. Secara umum, beberapa parameter uji mikrobiologi pada makanan yang dipersyaratkan terdiri dari: (1) Uji angka lempeng total; (2) Uji angka kapang khamir; (3) Uji angka bakteri termofilik; (4) Uji angka bakteri pembentuk spora; (5) Uji angka bakteri anaerob; (6) Uji angka *Staphylococcus aureus*; (7) Uji angka *Enterobacteriaceae*; (8) Uji MPN *Coliform*; (9) Uji MPN

fekal *Coliform*; (10) Uji MPN *Escherichia coli*; (11) Uji angka *Escherichia coli*; (12) Identifikasi *Escherichia coli*; (13) Identifikasi *Staphylococcus aureus*; (14) Identifikasi *Salmonella*; dan (15) Identifikasi *Shigella* (Sudian, 2008:4).

Menurut Sudian (2008:5) metode-metode yang digunakan untuk pengujian mikrobiologi pangan yang ditentukan oleh persyaratan yang diacu adalah sebagai berikut.

#### 1. Metode Kuantitatif (Enumerasi)

Pengujian secara kuantitatif yaitu menggunakan penghitungan jumlah mikroorganisme dan interpretasi hasil berupa koloni per ml/g atau koloni per 100 ml. Metode ini digunakan untuk mengetahui jumlah mikroorganisme yang ada pada suatu sampel, umumnya dikenal dengan angka lempeng total atau *total plate count* (ALT/TPC) dan Angka Paling Mungkin atau *most probable number* (APM/MPN). Uji angka lempeng total (ALT) dan lebih tepatnya ALT aerob mesofil atau anaerob mesofil menggunakan media padat dengan hasil akhir berupa koloni yang dapat diamati secara *visual* dan dihitung, interpretasi hasil berupa angka dalam koloni (cfu) per ml/g atau koloni/100ml. Cara yang digunakan antara lain dengan cara tuang, cara tetes, dan cara sebar.

Angka paling mungkin (MPN) menggunakan media cair dengan tiga replikasi dan hasil akhir berupa kekeruhan atau perubahan warna dan atau pembentukan gas yang juga dapat diamati secara *visual*, dan interpretasi hasil dengan merujuk kepada tabel MPN. Dikenal 2 cara yaitu metode 3 tabung dan metode 5 tabung. Metode kuantitatif dilakukan dengan beberapa tahap yaitu

homogenisasi sampel, tahap pengenceran, tahap pencampuran dengan media (padat/cair), tahap inkubasi dan pengamatan, dilanjutkan dengan interpretasi hasil.

## 2. Metode Kualitatif (Pengkayaan)

Pengujian secara kualitatif dengan metode pengkayaan (*enrichment*) yaitu isolasi, identifikasi mikroorganisme, dan interpretasi hasil berupa negatif per 25 gram atau per 100 gram/ml. Identifikasi mikroorganisme patogen dapat dilakukan dengan cara konvensional maupun dengan pengujian cepat (*rapid test*). Pada metode kualitatif dilakukan perbanyakan terlebih dahulu dari sel mikroorganisme yang umumnya dalam jumlah yang sangat sedikit dan bahkan kadang-kadang dalam kondisi lemah. Metode kualitatif dilakukan dalam beberapa tahap yaitu tahap pengkayaan, tahap isolasi pada media selektif, tahap identifikasi dengan reaksi biokimia, dan dilanjutkan dengan analisa antigenik atau serologi atau imunologi dan bila diperlukan dapat juga dilakukan identifikasi DNA bakteri dengan metode PCR (*Polymerase Chain Reaction*).

## 2.3 Bakteri

### 2.3.1 Pengertian Bakteri

Bakteri termasuk organisme prokariotik (tidak memiliki nukleus). Prokariotik pada sekitar tahun 1970 berubah menjadi *Eubacteria* (murin pada dinding sel). Sekitar tahun 1990 berubah menjadi *Bakteria* (Sopandi dan Wardah, 2014:16). Bakteri dari kata latin *bacterium* (jamak, *bacteria*) yaitu batang kecil. Di dalam klasifikasi bakteri digolongkan dalam divisio Schizomycetes. Bakteri berukuran mikroskopik dan memiliki peranan besar dalam kehidupan di bumi. Bakteri pertama ditemukan oleh Anthony van Leeuwenhoek pada tahun 1674

dengan menggunakan mikroskop buatannya sendiri. Istilah *bacterium* diperkenalkan dikemudian hari oleh *Ehrenburg* pada tahun 1828.

Bakteri adalah organisme uniseluler yang umumnya mempunyai ukuran 0,5-1,0 sampai 2,0-10 mm dan mempunyai tiga bentuk morfologi yaitu bulat (*cocci*), batang (*bacilli*), dan kurva (*comma*). Bakteri dapat membentuk gerombol dan rantai (dua atau lebih) atau tetrad. Bakteri dapat motil atau nonmotil. Materi sitoplasma diselimuti dinding sel pada permukaan dan membran bawah dinding. Nutrisi dan bentuk molekul atau ion ditransportasi dari lingkungan melalui membran (mengandung komponen energi) dengan beberapa mekanisme spesifik (Sopandi dan Wardah, 2014:21).

DNA bakteri hanya tersusun atas akson dan tidak terlokalisasi dalam nukelus melainkan berbentuk sirkuler, panjang, dan biasa disebut nukleoi. Bakteri ada yang memiliki DNA ekstrakromosomal atau disebut plasmid yang berbentuk kecil, sirkuler, dan dapat mereplikasi DNANYA sendiri dimana distribusinya bersifat sporadis. Transfer gen dan rekombinasi genetik dapat terjadi pada bakteri, tetapi tidak melibatkan gamet atau pembentukan zigot (Sopandi dan Wardah, 2014:22). Pembelahan sel bakteri dilakukan secara biner. Sel prokariotik dapat juga mempunyai flagella, kapsul, lapisan permukaan protein, dan pili untuk fungsi tertentu. Beberapa bakteri juga membentuk satu endospora untuk setiap sel.

Beberapa kelompok bakteri dikenal dan dapat memberikan manfaat dibidang pangan, pengobatan, dan industri. Terlepas dari bakteri dapat memberikan manfaat di berbagai bidang, banyak jenis bakteri yang justru menjadi agen penyebab infeksi dan penyakit atau bersifat patogen. Menurut Supardi dan

Sukanto (1999:5) kehadiran bakteri dalam hal pangan juga merupakan penyebab terjadinya kerugian seperti: (1) Mengubah bau, rasa, dan warna yang tidak dikehendaki; (2) Menurunkan berat atau volume; (3) Menurunkan nilai gizi/nutrisi; (4) Mengubah bentuk dan susunan senyawa; dan (5) Menghasilkan toksin (senyawa racun) yang membahayakan.

Bakteri patogen dapat memproduksi toksin yang menyebabkan suatu penyakit pada manusia. Supardi dan Sukanto (1999:90) menambahkan bahwa berdasarkan toksin yang dihasilkan dan sesuai dengan sifat kimianya maka toksin yang diproduksi bakteri patogen dibagi menjadi dua golongan, yaitu: (1) Endotoksin, yaitu toksin yang disintesis di dalam sel mikroorganisme, kemudian dikeluarkan ke substrat di sekelilingnya. Terdiri atas lipopolisakarida yang merupakan komponen dari dinding sel bakteri gram negatif, yang dikeluarkan jika terjadi kerusakan pada bakteri atau bakteri itu mati. Sifat tak stabil, relatif tahan terhadap pemanasan dan (2) Eksotoksin, yaitu toksin yang disintesis di dalam sel bakteri, dan baru bersifat toksik bila mengalami lisis. Terdiri dari protein yang dibuat oleh bakteri yang mempunyai efek terhadap saluran pencernaan dan dapat menyebabkan diare, disebut enterotoksin, yang disebabkan oleh *Staphylococcus aureus*, *Salmonella sp*, *Escherichia coli*, dan *Vivriæ*.

### **2.3.2 Bakteri Indikator Kerusakan Pangan**

Bakteri indikator adalah golongan atau spesies bakteri yang kehadirannya dalam makanan dalam jumlah diatas batas (*limit*) tertentu menjadi pertanda bahwa makanan telah terpapar dengan kondisi-kondisi yang memungkinkan berkembang biaknya mikroorganisme patogen. Bakteri indikator digunakan untuk menilai

mutu mikrobiologi dan keamanan makanan. Contohnya adalah jumlah yang tinggi dari bakteri aerob mesofil, bakteri anaerob mesofil, dan bakteri psikofil dapat merupakan indikator bagi status/ mutu mikrobiologi suatu makanan, yaitu sebagai petunjuk bahan baku yang tercemar, sanitasi yang tidak memadai, kondisi (waktu dan atau suhu) yang tidak terkontrol selama proses produksi atau selama penyimpanan ataupun kombinasi dari berbagai kondisi tersebut (Sudian, 2008: 2). Bakteri aerob mesofil dianggap sebagai mikroorganisme indikator meskipun kurang akurat dibandingkan dengan yang lain. Bakteri anaerob mesofil merupakan indikator dari kondisi yang dapat menyebabkan adanya pertumbuhan bakteri anaerob penyebab keracunan makanan seperti *C. perfringens* dan *C. botulinum*.

Golongan bakteri *Coliform*, *Coliform fecal*, *Escherichia coli*, dan *Enterobacter sakazakii* merupakan bakteri bentuk batang yang bersifat aerob dan anaerob. Golongan *Coliform* yaitu *Escherichia coli* dan spesies dari *Citrobacter* (*Enterobacter*, *Klebsiella*, dan *Serratia*) dalam makanan keberadaannya tidak selalu menunjukkan telah terjadi kontaminasi yang berasal dari feses. Hal tersebut dikarenakan bakteri ini berhabitat di saluran pencernaan dan non-saluran pencernaan yaitu tanah dan air. Bakteri selain *Escherichia coli* dalam golongan ini mampu hidup lebih lama pada non-saluran pencernaan. Hal tersebut membuat keberadaan golongan *Coliform* lebih merupakan indikasi dari kondisi *processing* atau sanitasi yang tidak memadai. Keberadaan golongan *Coliform* dalam jumlah tinggi dalam makanan olahan menunjukkan adanya kemungkinan pertumbuhan dari *Salmonella*, *Shigella*, dan *Staphylococcus* (Sudian, 2008: 3).

*Escherichia coli* dan *Coliform fecal* merupakan indikator dari kontaminan dengan sumber/bahan fekal. *Coliform fecal* merupakan metode pemeriksaan untuk menunjukkan adanya *E. coli* atau spesies yang dekat secara cepat tanpa harus mengisolasi biakan dan melakukan test IMVIC. *Escherichia coli* berhabitat alami di saluran pencernaan bawah hewan dan manusia. Keberadaan *Staphylococcus aureus* dalam makanan bisa bersumber dari kulit, mulut atau rongga hidung pengolah makanan. Bakteri tersebut dapat menjadi indikator dari kondisi sanitasi yang tidak memadai apabila ditemukan dalam jumlah tinggi (Sudian, 2008: 3).

### **2.3.3 Kontaminasi Bakteri dalam Pangan**

Mikroorganisme masuk ke dalam pangan dari sumber internal dan eksternal, yang berkontak dengan pangan pada waktu proses produksi hingga pangan tersebut dikonsumsi. Menurut Sopandi dan Wardah (2014:46) beberapa sumber asal mikroorganisme dalam pangan adalah sebagai berikut.

#### **1. Sumber Kontaminasi Buah dan Sayuran**

Beberapa tanaman yang menghasilkan metabolit yang bersifat sebagai antimikroba alami dapat membatasi kehadiran mikroorganisme dalam pangan. Permukaan buah dan sayuran merupakan tempat kontaminasi mikroorganisme dengan jenis dan jumlah yang bervariasi, bergantung pada kondisi tanah, jenis fertiliser (pupuk), air yang digunakan, dan kualitas udara. Penyakit tanaman, kerusakan permukaan buah dan sayuran sebelum, selama, dan sesudah panen, jeda waktu antara panen dan pencucian, serta kondisi penyimpanan dan transportasi yang tidak baik setelah panen dan sebelum pengolahan, dapat meningkatkan



jumlah dan jenis mikroorganisme kontaminan. Kondisi penyimpanan yang tidak tepat setelah pengolahan juga dapat meningkatkan jumlah mikroorganisme kontaminan.

## 2. Sumber Kontaminasi Mikroorganisme Pangan Hewani

Pangan hewani dalam kondisi normal dapat membawa berbagai jenis mikroorganisme *indigeneus* dalam saluran pencernaan, respirasi, urogenital, puting susu, pada permukaan kulit, kuku, rambut, dan bulu. Ternak dalam kondisi sakit serta dalam keadaan cedera dapat mengubah ekologi mikroflora normal. Peternakan dengan tingkat sanitasi yang buruk, kebersihan permukaan tubuh, air, dan pakan dapat mengubah kondisi mikroorganisme normal. Ikan dan kerang juga dapat membawa mikroflora pada sisik, kulit, dan saluran pencernaan. Kualitas air, cara pemberian pakan dan penyakit dapat mengubah jumlah dan jenis mikroorganisme normal. Mikroorganisme perusak dan patogen dapat masuk ke dalam pangan hewani selama produksi dan pengolahan. Kontaminasi pangan hewani dari sumber kontaminan material feses dipandang sangat penting karena dapat membawa patogen enteris.

## 3. Sumber Kontaminasi Mikroorganisme dari Udara

Mikroorganisme dapat berada dalam debu dan tetesan uap air di udara. Mikroorganisme tidak dapat tumbuh pada debu, tetapi dapat berada sementara dan bervariasi bergantung pada kondisi lingkungan. Jumlah mikroorganisme kontaminan dari udara dipengaruhi oleh tingkat kelembaban, ukuran dan jumlah partikel debu, suhu, dan kecepatan udara, serta resistensi mikroorganisme terhadap pengeringan. Jenis bakteri di udara dipengaruhi oleh kualitas udara,

tetapi secara umum didominasi oleh bakteri berbentuk batang dan kokus gram negatif, udara terkontaminasi aerosol yang dihasilkan dari hewan, manusia, kendaraan, pabrik, dan aktivitas lain.

#### 4. Sumber Kontaminasi Mikroorganisme dari Tanah

Tanah, khususnya tanah yang digunakan untuk pertanian dan pemeliharaan ternak mengandung berbagai jenis mikroorganisme. Mikroorganisme dapat tumbuh dan berkembang biak dalam tanah, sehingga jumlahnya sangat tinggi. Tanah dapat tercemari oleh material feses dan menjadi sumber bakteri patogen enteris dan virus dalam pangan. Berbagai jenis parasit juga dapat masuk ke dalam pangan dari tanah.

#### 5. Sumber Kontaminasi Mikroorganisme dari Limbah

Limbah organik, terutama ketika digunakan sebagai pupuk tanaman dapat membawa mikroorganisme dan mengontaminasi pangan terutama bakteri enteropatogenik dan virus. Parasit patogen juga dapat masuk ke dalam pangan dari limbah.

#### 6. Sumber Kontaminasi Mikroorganisme dari Air

Lingkungan akuatik, baik air tawar maupun laut mengandung berbagai spesies mikroorganisme bergantung pada habitat tempat mikroorganisme hidup. Air digunakan untuk memproduksi, mengolah, dan pada kondisi tertentu digunakan untuk menyimpan pangan. kualitas air akan berpengaruh sangat besar terhadap kualitas mikroorganisme patogen.

## 7. Sumber Kontaminasi Mikroorganisme dari Manusia

Manusia dapat menjadi sumber kontaminan mikroorganisme patogen yang selanjutnya menyebabkan penyakit bawaan pangan, khususnya pada pangan siap santap. Tangan dan pakaian yang tidak bersih, serta rambut dapat menjadi sumber utama kontaminasi mikroorganisme dalam pangan. Luka ringan dan infeksi pada pangan atau bagian tubuh, serta penyakit yang umum dapat meningkatkan kontaminasi mikroorganisme.

### 2.3.4 Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan Mikroorganisme dalam Pangan

Adanya pengaruh selektif terhadap jumlah dan jenis mikroorganisme awal yang terdapat pada makanan dapat mempengaruhi populasi mikroorganisme yang terdapat pada setiap makanan baik jumlah maupun jenisnya. Berbagai pengaruh selektif menyebabkan satu atau beberapa jenis mikroorganisme mungkin menjadi dominan dibanding dengan jenis mikroorganisme lain. Suatu kelompok mikroorganisme yang terdapat dalam suatu pangan dapat tumbuh subur, tetap dominan, atau mati sangatlah bergantung pada beberapa faktor penyebab. Suatu mikroorganisme dikatakan dominan apabila keadaan mikroorganisme tersebut tidak mati dan juga tidak dapat tumbuh karena tidak melakukan metabolisme. Menurut Sopandi dan Wardah (2014:82) berbagai faktor yang mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme dalam pangan ditentukan oleh karakteristik fisika-kimia pangan (faktor intrinsik), kondisi lingkungan penyimpanan (faktor ekstrinsik), dan karakteristik, interaksi antarmikroorganisme (faktor implisit), dan faktor pengolahan pangan.

#### 2.3.4.1 Faktor Intrinsik Pangan

Faktor intrinsik bahan makanan merupakan semua faktor yang mempengaruhi populasi mikroorganisme yang berasal dari bahan makanan. Faktor ini dapat meliputi sifat kimia atau komposisi, sifat fisik, dan struktur makanan. Adapun faktor-faktor tersebut adalah sebagai berikut:

##### 1. Aktivitas Air ( $a_w = \text{water activity}$ )

Bahan pangan dengan kadar air tinggi (nilai  $a_w$ : 0,95-0,99) umumnya dapat ditumbuhi oleh semua jenis mikroorganisme, tetapi karena bakteri dapat tumbuh lebih cepat dari pada kapang dan khamir, maka kerusakan akibat bakteri lebih banyak dijumpai (Supardi dan Sukanto, 1999:22)

##### 2. Nilai pH

Nilai pH bahan pangan pada umumnya berkisar antara 3,6 sampai 8,0. Kebanyakan mikroorganisme tumbuh pada pH sekitar 5,0 – 8,0, maka hanya jenis-jenis tertentu saja ditemukan pada bahan pangan yang mempunyai nilai pH rendah (Supardi dan Sukanto, 1999:24). Setiap spesies mempunyai pH optimum dan kisaran pH untuk pertumbuhan yang berbeda. Bakteri gram negatif mempunyai sensitifitas lebih rendah dibandingkan dengan bakteri gram positif. Kisaran nilai pH untuk pertumbuhan bakteri gram positif 4,0-8,5 dan bakteri gram negatif 4,5-9,0 (Sopandi dan Wardah, 2014:94).

##### 3. Potensial Redoks (Eh)

Potensial redoks dalam pangan dipengaruhi oleh komposisi kimia, pemberian perlakuan pengolahan tertentu dan kondisi penyimpanan yang berhubungan dengan udara. Pertumbuhan mikroorganisme dan kemampuannya

untuk menghasilkan energi melalui reaksi metabolik bergantung pada potensial redoks pangan. Nilai Eh untuk aerob adalah +500 sampai +300mV, fakultatif anaerob +300 sampai +100mV, dan obligat anaerob +100 sampai -250mV atau lebih rendah (Sopandi dan Wardah, 2014:96)

#### 4. Nutrisi

Sel mikroorganisme yang tumbuh dalam pangan, nutrisi tersebut diperoleh dari pangan. komponen yang dapat digunakan sebagai nutrisi mikroorganisme adalah karbohidrat, protein, lipida, mineral, dan vitamin. Beberapa mikroorganisme dalam pangan dapat memanfaatkan gula, alkohol, dan asam amino sebagai sumber energi (Sopandi dan Wardah, 2014:83). Komposisi kimiawi dari bahan pangan dapat menentukan mikroorganisme yang dominan di dalamnya, karena hal tersebut menentukan jumlah nutrisi yang penting dan tersedia untuk perkembangan mikroorganisme. Setelah kematian dan lisis, sel mikroorganisme mengeluarkan enzim intraseluler yang juga mengkatalisis pemecahan kompleks nutrisi pangan menjadi molekul bentuk sederhana, kemudian dapat dimanfaatkan oleh mikroorganisme lain.

##### **2.3.4.2 Faktor Ekstrinsik Pangan**

Bahan pangan segar atau produk makanan olahan yang tidak langsung dikonsumsi memerlukan tahap penyimpanan atau transpor/distribusi. Faktor ekstrinsik pangan yaitu lingkungan yang mempengaruhi populasi mikroorganisme yang terdapat pada makanan.

Adapun faktor ekstrinsik pangan tersebut yaitu.

#### 1. Kelembapan relatif

Daerah yang mempunyai  $a_w$  tinggi dapat menjadi tempat memulai pertumbuhan mikroorganisme (Sopandi dan Wardah, 2014:98). Pangan yang mempunyai permukaan mudah mengalami kerusakan oleh kapang, khamir, dan beberapa bakteri harus disimpan pada kondisi kelembaban relatif rendah.

#### 2. Suhu

Pangan dapat terpapar oleh berbagai suhu yang berbeda sejak mulai waktu produksi hingga waktu pangan tersebut dikonsumsi. Sel akan cepat mati pada pangan yang terpapar oleh suhu tinggi diatas suhu maksimum untuk pertumbuhan dan relatif lebih lambat mati pada pangan yang terpapar suhu rendah rendah, di bawah suhu minimum untuk pertumbuhan (Sopandi dan Wardah, 2014:98).

#### 3. Gas Atmosfir

Komposisi gas di atmosfer berpengaruh terhadap potensial redoks, serta menentukan perkembangan dan laju pertumbuhan mikroorganisme dalam pangan. Karbondioksida mempunyai efek yang berbeda terhadap mikroorganisme. Kapang dan bakteri gram negatif oksidatif lebih sensitif, tetapi bakteri gram positif cenderung lebih resistan. Efek penghambatan karbondioksida terhadap pertumbuhan mikroorganisme telah diaplikasikan dalam pengemasan pangan (Sopandi dan Wardah, 2014:100).

#### **2.3.4.3 Faktor Implisit**

Faktor implisit yaitu karakteristik mikroorganisme dalam memberi respons terhadap lingkungan dan interaksi antar mikroorganisme (Sopandi dan Wardah,

2014:101). Mikroorganisme yang mempunyai laju pertumbuhan spesifik tinggi akan mendominasi populasi dalam pangan untuk waktu yang lama. Dua jenis mikroorganisme dapat mempunyai laju pertumbuhan spesifik yang hampir sama, tetapi berbeda dalam afinitasnya terhadap substrat (Sopandi dan Wardah, 2014:102). Mikroorganisme yang mempunyai afinitas rendah akan kalah bersaing dengan mikroorganisme lain. Respons tersebut bergantung pada status fisiologis mikroorganisme. Sel yang sedang mengalami fase pertumbuhan eksponensial hampir selalu lebih mudah di bunuh oleh panas, pH rendah atau antimikroba dibandingkan sel yang berada pada fase stasioner (Sopandi dan Wardah, 2014:102).

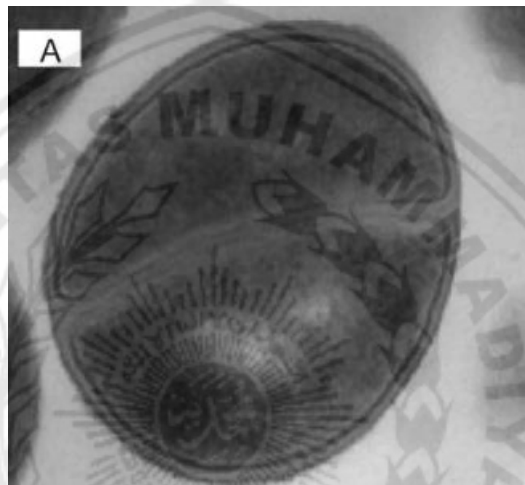
#### **2.4 Penyakit Bawaan Pangan**

Penyakit bawaan pangan didefinisikan sebagai wabah jika dua atau lebih dari dua orang menjadi sakit dengan gejala sakit karena konsumsi pangan yang sama dari sumber yang sama. Angka kejadian penyakit bawaan pangan lebih tinggi di negara-negara yang sedang berkembang dibandingkan dengan sebagian negara-negara maju karena kurangnya implementasi regulasi dalam produksi dan penanganan pangan, praktik baik sanitasi dan ketersediaan fasilitas yang diperlukan untuk mengurangi kontaminasi pangan (Sopandi dan Wardah, 2014:386). Penyakit bawaan pangan pada manusia disebabkan oleh konsumsi makanan atau minuman yang terkontaminasi sel hidup bakteri patogen, pangan yang mengandung toksin yang dihasilkan oleh bakteri atau kapang toksigenik. Berdasarkan mekanisme, Ray (2004) dalam Sopandi dan Wardah (2014:386)

mengelompokkan penyakit bawaan pangan menjadi 3 kelompok, yaitu intoksikasi atau keracunan, infeksi, dan toksikoinfeksi.

#### 2.4.1 Intoksikasi Bawaan Pangan

Intoksikasi bawaan pangan merupakan penyakit yang terjadi karena konsumsi pangan yang mengandung toksin dari mikroorganisme baik bakteri maupun kapang.



**Gambar 2.1** Mikroorganisme penyebab intoksikasi bawaan pangan: **Gambar Mikroskop Elektron *Staphylococcus aureus*** (Sumber: Somerville, 2016:133).

Beberapa karakteristik intoksikasi bawaan pangan yaitu: (1) Toksin dihasilkan oleh mikroorganisme patogen ketika tumbuh dalam pangan; (2) Toksin dapat bersifat labil atau stabil terhadap panas; (3) Penyakit timbul karena konsumsi pangan yang mengandung toksin aktif, bukan sel hidup mikroorganisme kecuali kasus botulism pada bayi yang mengkonsumsi spora hidup bakteri; (4) Gejala muncul dengan cepat dalam waktu 30 menit setelah konsumsi pangan; (5) Gejala sakit beragam bergantung tipe toksin, konsumsi enterotoksin menyebabkan gejala sakit pada lambung dan neurotoksin menyebabkan gejala neurologikal; (6) Tidak ada gejala febril. Terdapat 3 jenis intoksikasi mikroorganisme, yaitu



intoksikasi stafilocokal, botulism, dan mikotoksikosis dari kapang (Sopandi dan Wardah, 2014:390).

#### **2.4.1.1 Intoksikasi Stafilocokal**

Intoksikasi bawaan pangan stafilocokal (*Staphylococcal gastroenteritis*) disebabkan oleh toksin dari *Staphylococcus aureus*. Intoksikasi ini sering terjadi di seluruh dunia, pada tahun-tahun terakhir angka kejadian keracunan stafilocokal telah menurun sebagai refleksi dari penggunaan suhu penyimpanan pangan yang baik, dan pengembangan praktik sanitasi yang dapat mengendalikan kontaminasi dan pertumbuhan *Staphylococcus aureus* (Sopandi dan Wardah, 2014:390). Salah satu hal yang menambah kesulitan dalam mendeteksi kontaminasi ini adalah bahwa tidak ada perubahan bau dan rasa pada makanan pada saat bakteri tumbuh di dalamnya.

Klasifikasi *Staphylococcus aureus* adalah Kingdom/Domain: Bacteria (Cavalier-Smith, 2002), Subkingdom/Subdomain: Posibacteria (Cavalier-Smith, 2002), Phylum/Filum: Firmicutes (Gibbons and Murray, 1978), Class/Kelas: Bacilli (Ludwig *et al.*, 2010), Order/Ordo: Bacillales (Prevot, 1953), Family/Famili: Staphylococcaceae (Schleifer and Bell, 2010), Genus: *Staphylococcus* (Rosenbach, 1884), Spesies: *Staphylococcus aureus* (Rosenbach, 1884). *Staphylococcus aureus* adalah bakteri gram positif berbentuk bulat (koksi) bergerombol seperti buah anggur atau dalam pasangan-pasangan yang kadang membentuk rantai yang pendek, berbentuk sphaeroid atau ovoid, non motil, nonkapsular, sel berdiameter sekitar 0,8-1,0  $\mu\text{m}$  dan tidak membentuk spora (Budiharta dan Yani, 1988:84; Sopandi dan Wardah, 2014:391)

Bakteri *Staphylococcus aureus* merupakan bakteri fakultatif anaerobik, tetapi tumbuh cepat pada kondisi aerobik. Bakteri ini dapat memfermentasi karbohidrat dan dapat menyebabkan proteolisis oleh enzim ekstraseluler proteolitik. Kebanyakan strain *Staphylococcus aureus* dapat memfermentasi manitol dan menghasilkan koagulase, termonuklease, dan hemolisin, tetapi mempunyai sensitivitas yang beragam terhadap bakteriofag. Sel bakteri mati pada suhu 66°C selama 12 menit dan pada suhu 72°C selama 15 detik. Bakteri ini merupakan bakteri mesofilik dengan kisaran suhu pertumbuhan antara 7-48°C, tumbuh lebih cepat pada suhu antara 20-37°C, dapat tumbuh pada  $a_w$  rendah (0,86), pH rendah (4,8-7,6), dapat tumbuh pada konsentrasi garam (10% atau lebih) dan gula tinggi (15%), serta adanya NO<sub>2</sub> (Budiharta dan Yani, 1988:84; Sopandi dan Wardah, 2014:391). Hal tersebut menyebabkan *Staphylococcus aureus* dapat tumbuh pada berbagai jenis pangan.

*Staphylococcus aureus* mencairkan gelatin dan mereduksi nitrat menjadi nitrit dan amonia. Bakteri ini apabila dibiakkan di dalam medium padat koloninya berwarna putih, kuning atau berwarna emas. Bakteri ini merupakan kompetitor lemah terhadap berbagai jenis mikroorganisme yang terdapat pada pangan, tetapi dapat menjadi dominan dalam pangan karena kemampuan bakteri ini untuk tumbuh dalam kondisi lingkungan yang tidak sesuai untuk mikroorganisme lain (Sopandi dan Wardah, 2014:391).

Keterlibatan strain dari spesies *Staphylococcus aureus* yang berbeda dalam intoksikasi ini belum diketahui. Manusia dianggap sebagai sumber yang paling penting dari *Staphylococcus aureus* di dalam makanan. Telah ditemukan

bakwa sekitar 40% dari orang dewasa normal memiliki organisme ini di dalam hidung dan tenggorokan, sehingga ujung jaringan sangat sering terkontaminasi dengan bakteri ini (Budiharta dan Yani, 1988:86). Bakteri *Staphylococcus aureus* dapat ditemukan berada dalam hidung, tenggorokan, kulit, rambut, dan bulu ternak termasuk unggas dan manusia. Bakteri ini juga dapat ditemukan menginfeksi kulit yang luka atau bengkak pada manusia dan ternak. Orang dengan lesi *Staphylococcus aureus* ditangannya dapat secara langsung menginfeksi makanan (Mirawati, *et al.*, 2013:52).

Keracunan *Staphylococcus aureus* disebabkan oleh toksin yang disekresikan ke dalam makanan apabila bakteri penyebabnya tumbuh disana. Strain enterotoksigenik *Staphylococcus aureus* diketahui dapat menghasilkan 7 jenis enterotoksin yang berbeda, yaitu A,B,C1,C2,C3, D, dan E. Secara serologi, enterogenik tersebut merupakan protein yang stabil terhadap panas dengan bobot molekul 26-30kDa, terdiri atas dua asam amino, dan mempunyai toksisitas yang beragam. Enterotoksin yang mempunyai toksisitas tinggi lebih stabil terhadap panas dan potensi toksinnya tidak rusak pada proses pengolahan pangan dengan panas (Sopandi dan Wardah, 2014:392).

Pertumbuhan optimum terjadi pada suhu sekitar 37-40<sup>0</sup>C. Pada jumlah populasi mencapai beberapa juta sel per gram atau milimeter, yang pada umumnya dicapai dalam waktu 4 jam pada kondisi di bawah pertumbuhan optimum, toksin tidak terdeteksi. Toksin dapat diproduksi pada suhu 10<sup>0</sup>C, pH 5,0, atau  $a_w$  0,86, dan kombinasi dari 2 atau lebih parameter tersebut dapat berpengaruh sebaliknya (Sopandi dan Wardah, 2014:392).

Diperkirakan bahwa 1-4 mikrogram toksin *Staphylococcus aureus* tipe A diperlukan untuk menimbulkan gejala keracunan. Makanan yang menyebabkan keracunan bakteri ini biasanya mengandung  $50 \times 10^6$  sampai  $200 \times 10^6$  bakteri pergram (Budiharta dan Yani, 1988:87). *Staphylococcus aureus* dapat tumbuh menjadi jumlah yang sangat besar tanpa menyebabkan perubahan bau, rasa, atau fisik dari makanan yang bersangkutan, sehingga keberadaannya tidak diketahui. Penemuan lain menyebutkan sekitar kurang dari 1 mikrogram enterotoksin tipe A diperlukan untuk menyebabkan penyakit pada manusia karena manusia lebih sensitif dari pada kera, dimana dibutuhkan amat sedikit enterotoksin tipe A untuk menyebabkan penyakit (Budiharta dan Yani, 1988:88).

Toksin stafilokokal adalah toksin enterik dan menyebabkan gastroenteritis pada manusia dewasa yang mengkonsumsi sekitar 30/g atau /ml pangan yang mengandung 100-200 mg toksin yang dihasilkan oleh  $10^{6-7}$  sel/g atau /ml, sedangkan dosis pada bayi dan orang lanjut usia dapat lebih rendah (Sopandi dan Wardah, 2014:392). Gejala sakit dapat terlihat dalam waktu 2-4 jam, dengan kisaran 30 menit hingga 8 jam, secara langsung berkaitan dengan potensi dan jumlah toksin yang dikonsumsi serta resistensi individual yang menyebabkan gejala dan tingkat keparahan sakit bervariasi pada tiap penderita. Gejala sakit ini berlangsung sekitar 1-2 hari dan jarang berakibat kematian. Gejala utamanya adalah stimulasi sistem syaraf autonom, yaitu salivasi, mual dan muntah, kram perut, serta diare dengan gejala sekunder berkeringat, menggigil, sakit kepala, dan dehidrasi (Sopandi dan Wardah, 2014:393).

Hampir semua makanan yang basah yang mendukung pertumbuhan yang mendukung pertumbuhan *Staphylococcus aureus* dapat menyebabkan kontaminasi sampai keracunan pangan, meskipun makanan kering juga dapat terlibat dalam penyebaran penyakit oleh bakteri tersebut (Budiharta dan Yani, 1988:85). Secara umum, pertumbuhan bakteri ini dalam pangan menghasilkan toksin tanpa berpengaruh terhadap penurunan kualitas pangan. pangan yang mengandung kadar protein yang tinggi yang tidak ditangani dan disimpan pada suhu penyimpanan yang tepat, berkaitan dengan gastroenteritis stafilokokal.

#### **2.4.2 Infeksi Bawaan Pangan**

Infeksi bawaan pangan merupakan penyakit akibat konsumsi pangan atau air yang terkontaminasi sel hidup bakteri patogen enteropatogen atau virus. Beberapa karakteristik infeksi bawaan pangan yaitu: (1) Sel hidup bakteri dan virus patogen enterik dikonsumsi melalui pangan; (2) Sel bakteri yang bertahan hidup dalam lingkungan lambung dapat mempenetrasi melalui membran, hidup, tumbuh, dan menghasilkan toksin infeksi dalam sel epitel usus; (3) Dosis toksin yang dapat menyebabkan infeksi sangat bervariasi, secara teoritis satu sel hidup dapat menghasilkan sakit; (4) Gejala sakit secara umum dapat terjadi setelah 24 jam konsumsi bergantung pada jenis patogen enterik atau nonenterik; (5) Gejala enterik adalah lokal terjadi karena infeksi enterik dan efek toksin; (6) Gejala nonenterik terjadi karena patogen atau toksin patogen melewati usus halus dan masuk ke dalam organ dan jaringan dalam (Sopandi dan Wardah, 2014:400). Adapun infeksi bawaan pangan dibedakan menjadi dua yaitu infeksi virus dan infeksi bakteri bawaan pangan.

Infeksi virus dapat ditularkan pada manusia melalui sentuhan langsung, melalui udara, gigitan serangga, menelan minuman dan makanan. Virus masuk ke dalam makanan melalui kontaminasi primer (pada waktu pemanenan atau penyembelihan), atau melalui kontaminasi sekunder (selama pengolahan, penyimpanan, atau transportasi). Kelompok pertama infeksi virus ini adalah virus enderpest yaitu virus penyebab penyakit mulut dan kuku serta sering menyebabkan penyakit dan kerugian pada hewan ternak. Kelompok kedua antara lain enterovirus, adenovirus, dan reovirus (Supardi dan Sukanto 1999:250). Infeksi bakteri bawaan pangan disebabkan oleh bakteri-bakteri enteropatogen seperti *Salmonella*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli*, *Shigella*, beberapa spesies *Campylobacter*, *Yersinia enterocolitica*, empat spesies genus *Vibro*, *Brucella* spp, dan *Streptococcus pyogenes*.

#### 2.4.2.1 Salmonellosis

Bakteri dari genus *Salmonella* merupakan bakteri penyebab infeksi. Jika tertelan dan masuk ke dalam tubuh akan menimbulkan gejala yang disebut salmonellosis. Bakteri ini menginvasi jaringan tubuh, tumbuh, berkembangbiak dan menimbulkan gejala-gejala spesifik pada hospes. Secara resmi letusan yang disebabkan oleh *Salmonella* di Indonesia belum banyak di laporkan. Letusan salmonellosis telah banyak dilaporkan di negara maju seperti Amerika Serikat walaupun presentase jumlah yang dilaporkan masih terlalu kecil bila dibandingkan dengan wabah sebenarnya (Supardi dan Sukanto 1999:157).

Letusan salmonellosis dapat terjadi dimana-mana, terutama di daerah beriklim tropis atau pada musim panas. *Salmonella* yang mencemari makanan

dapat berkembang biak secara cepat karena keadaan lingkungan yang panas dan lembab menstimulir pertumbuhannya. Klasifikasi *Salmonella* adalah Kingdom/Domain: Bacteria (Cavalier-Smith, 2002), Subkingdom/subdomain: Negibacteria (Cavalier-Smith, 2002), Phylum/Filum: Proteobacteria (Garrity *et al.*, 2005), Class/Kelas: Gammaproteobacteria (Garrity *et al.*, 2005), Order/Ordo: Enterobakteriales (Garrity and Holt, 2001), Family/Famili: Enterobacteriaceae (Rahn, 1937), dan Genus: *Salmonella* (Lignieres, 1900).



**Gambar 2.2 TEM bakteri  
*Salmonella* tunggal**  
(Sumber: Brands, 2006:13)

*Salmonella* merupakan salah satu genus dari Enterobacteriaceae, berbentuk batang gram negatif dengan panjang  $1\mu\text{m}$ - $3,5\mu\text{m}$  x  $0,5\mu\text{m}$ - $0,8\mu\text{m}$ , tidak membentuk spora, anaerobik fakultatif, motil, dan aerogenik (Budiharta dan Yani, 1988:73; Supardi dan Sukanto 1999:158). Biasanya bersifat motil dan mempunyai flagella peritrikus, kecuali *S. gallinarum-pullorum* yang selalu bersifat nonmotil. Kebanyakan strain bersifat aerogenik, dapat menggunakan sitrat sebagai sumber karbon, diantara gula hanya glukosa yang difermentasikan dengan pembentukan gas dan asam, sedangkan sukrosa dan laktosa tidak difermentasikan. Hampir semua spesies menghasilkan sulfida dari protein dan semua dapat mendekarboksilasikan asam-asam amino tertentu (Budiharta dan Yani, 1988:74). *Salmonella* dapat menghasilkan gas dalam media yang mengandung glukosa (Sopandi dan Wardah, 2014:402). Secara umum *Salmonella* dapat memfermentasi

dulsitol, tetapi tidak memfermentasi laktosa, mendekarboksilasi lisin dan ornitin, tidak menghasilkan indol, dan tidak menghasilkan urease.

*Salmonella* merupakan bakteri mesofilik, dapat tumbuh pada kisaran suhu 5-46<sup>0</sup>C dengan suhu pertumbuhan optimum 35-37<sup>0</sup>C. Bakteri ini mati pada suhu pasteurisasi, sensitif terhadap pH rendah ( $\leq 4,5$ ). pada pH dibawah 4,0 dan diatas 9,0, *Salmonella* akan mati secara perlahan. Nilai pH optimum 6,5-7,5 dan nilai pH minimum bervariasi bergantung pada serotipe, suhu inkubasi, komposisi media,  $a_w$ , dan jumlah sel. Tidak dapat tumbuh pada  $a_w$  0,94, khususnya pada kombinasi dengan pH kurang dari 5,5. *Salmonella* umumnya dapat tumbuh pada media dengan  $a_w$  0,945-0,999 meskipun ada beberapa strain yang dapat tumbuh dengan  $a_w$  0,93 seperti *S. oranienburg*. Pada  $a_w$  0,2-0,9 tingkat kematian akan naik dengan naiknya  $a_w$ , meskipun pada suhu dan keasaman yang ekstrim *Salmonella* dapat hidup dalam waktu yang cukup lama pada  $a_w$  di bawah 0,20. Sel dapat bertahan hidup dalam keadaan kering dan pembekuan untuk waktu yang lama (Sopandi dan Wardah, 2014:402; Supardi dan Sukanto 1999:158).

*Salmonella* hidup secara anaerobik fakultatif. Bakteri ini tidak dapat berkompetisi secara baik dengan mikroba-mikroba yang umum terdapat di dalam makanan. Pertumbuhannya akan sangat terhambat dengan adanya bakteri-bakteri lain. Bakteri yang termasuk dalam genus *Salmonella* tidak dapat dibedakan hanya dari sifat-sifat biokimia dan morfologinya. *Salmonella* dapat ditemukan pada saluran gastrointestinal hewan liar dan ternak termasuk penyu, katak, dan serangga. Bakteri ini juga dapat diisolasi dari tanah, air, dan material feses. Sel *Salmonella* yang terkonsumsi akan menginvasi mukosa usus halus, tumbuh dalam



sel epitel, dan menghasilkan toksin yang menyebabkan reaksi inflamasi serta akumulasi cairan dalam usus halus. Pertumbuhan bakteri dan produksi enterotoksin berkaitan langsung dengan sekresi cairan dan elektrolit (Sopandi dan Wardah, 2014:402).

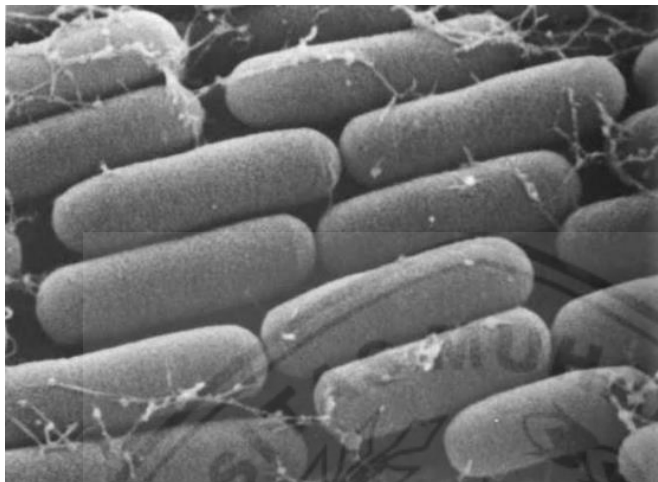
Salmonellosis pada manusia merupakan demam tifoid dan paratifoid, yang disebabkan oleh *S. typhi* dan *S. paratyphi*. Beberapa *Salmonella* sarovar yang menyerang berbagai jenis hewan, termasuk unggas berpotensi menyebabkan salmonellosis pada manusia. Salmonellosis bawaan pangan secara umum terjadi pada konsumsi  $10^{5-6}$  sel dan untuk beberapa strain virulen, salmonellosis terjadi pada konsumsi beberapa sel. Strains yang sensitif terhadap keasaman lambung secara umum memerlukan lebih banyak sel hidup dalam usus halus dan menyebabkan salmonellosis, begitupula sebaliknya (Sopandi dan Wardah, 2014:403).

Gejala salmonellosis akan tampak setelah mengkonsumsi sel bakteri dalam waktu 8-42 jam dan secara umum dalam waktu 24-36 jam. Individu yang telah sembuh dapat menjadi pembawa selama beberapa bulan. Gejala umum salmonellosis adalah kram perut, diare, mual, muntah, kedinginan, demam, dan gangguan syaraf. Kematian dapat terjadi terutama pada bayi, orang lanjut usia, dan orang yang sedang menderita sakit (Sopandi dan Wardah, 2014: 403).

#### **2.4.2.2 Patogenik *Escherichia coli***

Bakteri *Escherichia coli* termasuk basil *coliform*, merupakan flora komensal yang paling banyak pada usus manusia dan hewan, hidup aerobik/fakultatif aerobik. *Coliform* dapat berubah menjadi oportunistik patogen bila

hidup di luar usus, menyebabkan infeksi saluran kemih, infeksi luka, dan mastitis pada sapi. *Escherichia coli* dalam jumlah yang banyak bersama-sama feses, akan mencemari lingkungan.



**Gambar 2.3 TEM**  
*Escherichia coli* (Sumber:  
Burgess, *et al.*, 1990:96)

*Escherichia coli* thermotoleran adalah strain *Escherichia coli* yang telah dapat hidup pada suhu biakan 44,5<sup>0</sup>C dan merupakan indikator pencemaran air dan makanan oleh feses (Supardi dan Sukanto, 1999:184). Klasifikasi bakteri *Escherichia coli* yaitu Kingdom/Domain: Bacteria (Cavalier-Smith, 2002), Subkingdom/subdomain: Negibacteria (Cavalier-Smith, 2002), Phylum/Filum: Proteobacteria (Garrity *et al.*, 2005), Class/Kelas: Gammaproteobacteria (Garrity *et al.*, 2005), Order/Ordo: Enterobacteriales (Garrity and Holt, 2001), Family/Famili: Enterobacteriaceae (Rahn, 1937), Genus: *Escherichia* (Castellani and Chalmers, 1919), dan Spesies: *Escherichia coli* (Migula, 1895). *Escherichia coli* termasuk bakteri gram negatif, tidak berkapsul, umumnya mempunyai fimbria, motil, tidak membentuk spora, berbentuk batang bulat pendek(kokobasil), fakultatif anaerobik. Sel *Escherichia coli* mempunyai ukuran panjang 2,0-6,0  $\mu\text{m}$ , tersusun tunggal, berpasangan, dengan flagella peritikus.

*Escherichia coli* menggunakan asetat sebagai sumber karbon, tetapi tidak dapat menggunakan sitrat. Glukosa dan beberapa karbohidrat lainnya dipecah menjadi piruvat, dan fermentasi lebih lanjut menghasilkan laktat asetat dan format. Asam format oleh hidrogeniase dipecah menghasilkan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub> dalam jumlah yang sama banyaknya (Supardi dan Sukamto, 1999:185; Sopandi dan Wardah, 2014: 406).

*Escherichia coli* tumbuh pada suhu antara 10-40°C, dengan suhu optimum 37°C. pH optimum untuk pertumbuhannya adalah pada 7,0-7,5, pH minimum pada 4,0 dan maksimum pada pH 9,0. Nilai a<sub>w</sub> minimum untuk pertumbuhan *Escherichia coli* adalah 0,96. Bakteri ini relatif sangat sensitif terhadap panas dan dapat diinaktifkan pada suhu pasteurisasi makanan atau selama pemasakan makanan. *Escherichia coli* merupakan flora normal di dalam saluran pencernaan hewan dan manusia yang mudah mencemari air, sehingga kontaminasi bakteri ini pada makanan biasanya berasal dari kontaminasi air yang digunakan. Kontaminasi pada alat-alat yang digunakan dalam industri pengolahan pangan berasal dari air yang digunakan untuk mencuci yang menandakan praktek sanitasi yang kurang baik (Supardi dan Sukamto, 1999:189).

Menurut Sopandi dan Wardah (2014: 406) strain bakteri *Escherichia coli* dibedakan menjadi 4 kelompok, yaitu:

1. *Enteropatogenik E. coli* (EPEC)

EPEC merupakan strain *Escherichia coli* penting yang menyebabkan diare pada bayi di seluruh dunia, khususnya pada daerah dengan tingkat sanitasi rendah. Strain bakteri ini ditransmisikan secara langsung atau tidak langsung

melalui manusia pembawa. Patogenesis dihasilkan karena kemampuan kontak fisik bakteri dengan sel epitelial usus halus yang menyebabkan lesi. Konsumsi sel dalam jumlah tinggi ( $10^{6-9}$ ) diperlukan untuk menimbulkan gejala sakit yang mendominasi gastroenteritis.

## 2. Enterotoksigenik *E.coli* (ETEC)

ETEC merupakan strain penyebab utama diare pada wisatawan atau pelancong di berbagai negara dengan tingkat sanitasi yang rendah. Bakteri menghasilkan faktor invasif dan labil panas (HL), stabil panas (HS), atau HL dan HS, enterotoksin untuk menghasilkan penyakit. Gejala sakit enterotoksigenik *Escherichia coli* adalah gastroenteritis seperti kolera. Patogen disebarkan secara langsung atau tidak langsung oleh manusia pembawa.

## 3. Enteroinvasif *E. coli* (EIEC)

EIEC merupakan strain *Escherichia coli* yang menyebabkan penyakit mirip disentri yang disebabkan oleh shigellosis. Manusia dapat bertindak sebagai pembawa dalam penyebaran penyakit secara langsung atau tidak langsung. Gejala sakit timbul pada konsumsi sel sebanyak  $10^6$  sel. Gastroenteritis karena enteroinvasif *E. coli* disebabkan oleh patogen penghasil beberapa racun polipeptida, dengan gen yang dikode dalam plasmid dan dianggap sebagai faktor invasif, yang menyebabkan patogen mampu menginvasi sel epitelial dan menyebabkan infeksi pada kolon. Setelah mengonsumsi sel patogen sekitar  $10^6$  sel dengan periode inkubasi 7-12 hari, gejala sakit tampak sebagai kram perut, sering diare, sakit kepala, kedinginan, dan demam. Sel bakteri dalam jumlah besar dikeluarkan bersama feses. Patogen sensitif terhadap suhu pasteurisasi.

#### 4. *Enterohemoragik E. coli* (EHEC)

Serogrup utama dari strain *Enterohemoragik Escherichia coli* adalah O157:H7 yang dikenal sebagai penyebab diare berdarah (kolitis hemoragik) dan sindrom uremik hemoragik (*hemorrhagic uremic syndrome*) pada manusia. Hewan terutama sapi perah dapat menjadi pembawa. Konsumsi 10-100 sel dapat menghasilkan penyakit, khususnya pada individu yang sensitif. Serotip utama yang berkaitan dengan Enterohemoragik kolitis adalah *E. coli* O157:H7 tidak memfermentasi sorbitol atau mempunyai aktivitas glukuronidase.

*E. coli* O157:H7 dapat tumbuh cepat pada suhu 30-42<sup>0</sup>C, tumbuh lambat pada suhu 44-45<sup>0</sup>, dan tidak tumbuh pada suhu 10<sup>0</sup>C atau lebih rendah. Strain ini resisten terhadap pH 4,5 atau lebih rendah. Bakteri akan mati pada suhu pasteurisasi 64,3<sup>0</sup>C selama 9,6 detik, tetapi sel dapat bertahan hidup pada pangan dengan suhu -20<sup>0</sup>C. bakteri *E.coli* O157:H7 menghasilkan verotoksin (VTI) atau shiga toksin (ST). Lebih dari satu toksin dapat terlibat dalam penyakit dan gejala penyakit. Sel bakteri dapat menempel pada sel epitel, membentuk koloni dalam usus halus dan menghasilkan toksin yang beraksi dalam kolon. Toksin juga diabsorbsi ke dalam aliran darah dan merusak saluran darah dalam usus halus, ginjal, dan otak (Sopandi dan Wardah, 2014:408).

Bakteri *E. coli* O157:H7 menyebabkan kolitis haemoragik, sindrom uraemik hemolitik (HUS), dan *thrombotic thrombocytopenic purpura* (TTP). Gejala akan tampak 3-9 hari setelah konsumsi toksin, gejala kolitis meliputi kram perut mendadak, diare air, dan muntah. Kerusakan usus halus menyebabkan pendarahan. Toksin juga memecah sel darah merah dan pembekuan saluran darah

dalam ginjal yang menyebabkan kerusakan dan kegagalan fungsi ginjal, sedangkan TTP menyebabkan pembekuan darah di otak dan sering menyebabkan kematian (Sopandi dan Wardah, 2014:408).

#### **2.4.2.3 Shigellosis (Disentri Basiler)**

*Shigella* merupakan suatu bakteri patogen yang dapat menyebabkan gejala penyakit shigellosis atau sering disebut disentri basiler. Shigellosis di negara yang sedang berkembang, khususnya Asia, Meksiko, dan Amerika Selatan disebabkan oleh konsumsi air minum yang terkontaminasi. Anak-anak yang berumur di bawah 5 tahun paling banyak terkena shigellosis yang disebabkan oleh *Shigella dysenteriae* dan *Shigella sonnei* (Sopandi dan Wardah, 2014:409). Presentase kematian dari penderita shigellosis di negara-negara berkembang umumnya cukup tinggi. Hal tersebut disebabkan oleh tingkat kebersihan lingkungan, gizi penderita yang kurang baik (Supardi dan Sukanto, 1999:176).

Sel bakteri *Shigella* termasuk spesies gram negatif, non-motil, fakultatif anaerobik, tidak membentuk spora maupun kapsul, dan berbentuk batang dengan ukuran  $2-3 \times 0,5-0,7 \mu$  (Budiharta dan Yani, 1988; Sopandi dan Wardah, 2014:409). *Shigella* adalah suatu bakteri dari famili Enterobacteriaceae yang secara umum merupakan katalase positif, tetapi oksidase dan laktose negatif dan dapat menfermentasi gula tanpa membentuk gas. Nitrat direduksi menjadi nitrit dan amonia. *Shigella* dapat tumbuh pada suhu  $7-46^{\circ}\text{C}$ , dengan suhu pertumbuhan optimum  $37^{\circ}\text{C}$ , dapat bertahan hidup selama beberapa hari, pada perlakuan fisik dan kimia seperti refrigerasi, pembekuan, kadar NaCl 5%, dan pH 4,5, tetapi mati pada perlakuan pasteurisasi (Sopandi dan Wardah, 2014:409).

Kontaminasi *Shigella* pada makanan lebih banyak berasal dari air yang digunakan untuk mengolah makanan tersebut atau dari pekerja pengolah makanan tersebut. Penyebaran shigellosis melalui air, dapat juga melalui kontak dari orang ke orang. Manusia dapat membawa bakteri ini dalam usus halus dan dapat berada dalam feses tanpa menunjukkan gejala sakit. Sesudah sembuh secara klinis, feses masih tetap positif beberapa minggu hingga terkadang menjadi *carrier persisten* (Supardi dan Sukanto, 1999:179; Sopandi dan Wardah, 2014:410).

Infeksi *Shigella* terjadi melalui mulut (per oral) dengan dosis infeksi lebih kecil dari *Salmonella* yaitu  $10^{1-3}$  sel. Strain bakteri dapat menghasilkan enterotoksigenik yang disebut Shiga toxin (ST). Sel *Shigella* yang tumbuh pada suhu  $30^{\circ}\text{C}$  memerlukan beberapa jam pada kondisi suhu  $37^{\circ}\text{C}$ , sebelum dapat menginvasi dan mematikan sel epitel usus halus untuk selanjutnya menyerang sel epitel yang masih hidup dan menyebabkan lesi serta bisul bernanah (Sopandi dan Wardah, 2014:410; Supardi dan Sukanto, 1999:248).

Gejala shigellosis akan tampak dalam waktu 12 jam sampai 7 hari dan secara umum 1-3 hari setelah konsumsi pangan yang telah terkontaminasi. Infeksi ringan dapat menunjukkan gejala dalam waktu 2-3 minggu, tetapi untuk individu tertentu menunjukkan gejala sakit. Gejala infeksi shigellosis meliputi sakit perut, diare berdarah, bernanah, demam, kedinginan, dan sakit kepala. Secara umum anak-anak lebih rentan terhadap shigellosis dibandingkan orang dewasa (Sopandi dan Wardah, 2014:410).



**Gambar 2.4. Mikroorganisme penyebab Shigellosis: *Shigella sonnei***  
(Sumber: Pommerville, 2011:315)

Klasifikasi *Shigella* adalah Kingdom/Domain: Bacteria (Cavalier-Smith, 2002), Subkingdom/Subdomain: Negibacteria (Cavalier-Smith, 2002), Phylum/Filum: Proteobacteria (Garrity *et al.*, 2005), Class/Kelas Gammaproteobacteria (Garrity *et al.*, 2005), Order/Ordo: Enterobakteriales (Garrity and Holt, 2001), Famili: Enterobacteriaceae (Rahn, 1937), dan Genus: *Shigella* (Castellani and Chalmers, 1919). Genus *Shigella* terdiri atas 4 spesies yaitu *Shigella dysenteriae*, *Shigella flexneri*, *Shigella boydii*, dan *Shigella sonnei* yang masing-masing spesies mempunyai beberapa serovar. Berat ringannya penyakit bergantung kepada spesies yang menginfeksi. *Shigella dysenteriae* adalah yang paling berat, kemudian secara berturut-turut *Shigella flexneri*, *Shigella boydii*, dan yang paling ringan *Shigella sonnei*. *Shigella dysenteriae* menghasilkan enterotoksin yang kuat dan berefek terhadap syaraf sehingga disebut neurotoksin (Supardi dan Sukanto, 1999:249; Sopandi dan Wardah, 2014:409).

#### **2.4.3 Toksikoinfeksi Bawaan Pangan**

Secara umum, sel bakteri yang membentuk spora atau sel yang mati dapat mengeluarkan toksin yang menyebabkan gejala sakit. Sopandi dan Wardah (2014:419), mengemukakan beberapa karakteristik umum toksikoinfeksi bawaan



pangan, yaitu: (1) Toksikoinfeksi yang disebabkan oleh bakteri pembentuk spora yang hanya perlu menelan sejumlah besar sel vegetatif hidup; (2) Sel vegetatif bakteri pembentuk spora tidak berkembang biak di saluran pencernaan, tetapi dapat bersporulasi dan melepaskan racun; (3) Toksikoinfeksi karena bakteri gram negatif, sel-sel hidup dapat tertelan dalam jumlah sedang; (4) Sel bakteri gram negatif dengan cepat berkembang biak di saluran pencernaan; (5) Banyak sel bakteri yang mati, juga melepaskan racun; (6) Racun dari kedua kelompok bakteri menghasilkan gejala gastroenteritis.

Contoh dari toksikoinfeksi bawaan pangan adalah *Clostridium perfringens* gastroenteritis, *Bacillus cereus* gastroenteritis, Kolera yang disebabkan oleh *Vibrio cholerae*, dan *Escherichia coli* gastroenteritis. Dua dari 4 grup enteropatogenik *Escherichia coli* berkorelasi dengan toksikoinfeksi, yaitu jenis enteropatogenik EPEC dan enterotoksigenik ETEC *Escherichia coli*. Kedua jenis tersebut dapat menyebabkan diare ketika dikonsumsi dalam jumlah yang tinggi melalui makanan dan air yang terkontaminasi. Gejala gastroenteritis *Escherichia coli* lebih mirip kolera dan di beberapa negara yang sedang berkembang dengan tingkat sanitasi buruk, angka kejadian penyakit ini cukup tinggi (Sopandi dan Wardah, 2014:426).

Semua strain anggota dua subgrup dapat berada dalam usus halus manusia, tanpa menimbulkan gejala sakit. Feses dari organisme pembawa dapat mengontaminasi langsung atau tidak langsung pangan dan air. Berbagai jenis ternak juga dapat menjadi tempat hidup berbagai jenis serotip dan dapat mengontaminasi tanah, air, dan pangan (Sopandi dan Wardah, 2014:427).

Strain dalam subgrup ETEC menghasilkan 2 jenis enterotoksin, yaitu toksin yang tidak tahan panas dan toksin tahan panas. Serotip ETEC juga menghasilkan faktor tambahan yang menyebabkan sel dapat berkoloni, memperbanyak diri, dan memulai infeksi. Pangan yang terkontaminasi langsung atau tidak langsung oleh feses diikuti dengan suhu penyimpanan pangan yang tidak tepat dan perlakuan panas yang tidak memadai dapat menimbulkan kejadian gastroenteritis *Escherichia coli* (Sopandi dan Wardah, 2014:428).

## **2.5 Bumbu Giling**

### **2.5.1 Pengertian Bumbu Giling**

Bumbu segar atau biasa disebut juga bumbu giling merupakan bumbu yang terbuat dari campuran berbagai rempah dalam keadaan segar yang telah dihaluskan (Yusmita, 2017: 122). Bumbu biasanya terbuat dari berbagai tanaman aromatik seperti rempah-rempah dengan diberi tambahan garam atau gula. Umumnya beberapa bumbu giling diberi garam sampai konsentrasi 20% bahkan ada yang mencapai 30%. Bumbu berfungsi untuk memberi rasa, warna, dan aroma pada makanan untuk meningkatkan nilai suatu makanan. Penambahan bumbu bertujuan untuk menghasilkan cita rasa tertentu yang diinginkan dalam makanan dan juga dapat meningkatkan daya awet suatu masakan (Yusmita, 2017:1).

Menurut PerKa BPOM No. 16 tahun 2016 bumbu dibedakan menjadi dua yaitu bumbu siap pakai bubuk (kering) dan bumbu siap pakai pasta (basah). Bumbu yang beredar tersebut ada yang dikemas wrap, dikemas plastik biasa, dan ada juga yang di tempatkan dalam wadah kemudian dikemas plastik apabila ada yang membelinya. Kebanyakan bumbu bentuk bubuk (kering) diproduksi oleh

pabrik besar. Adapun bumbu giling pasta (basah) ada yang diproduksi oleh pabrik dan ada yang dibuat sendiri oleh penjualnya (*home industry*).

Bumbu giling pasta yang beredar di masyarakat terdapat beberapa jenis, yaitu mulai dari bumbu giling dasar sampai bumbu giling yang sudah teracik. Bumbu giling dasar tersebut dibedakan berdasarkan warna yaitu bumbu dasar putih, kuning, orange, dan merah. Cara membuat berbagai masakan menggunakan bumbu dasar tersebut adalah: (1) Bumbu dasar putih dapat digunakan untuk membuat opor, lodeh, dan empal; (2) Bumbu dasar kuning digunakan untuk membuat ayam goreng, pepes, dan soto; (3) Bumbu dasar merah digunakan untuk membuat balado dan sambal goreng; (4) Campuran bumbu dasar putih dan merah dapat digunakan untuk ayam goreng, ayam bakar, kare, dan rawon; (5) Campuran bumbu dasar kuning dan merah dapat digunakan untuk pepes dan ayam bakar; (6) Campuran bumbu dasar putih, merah, dan kuning dapat digunakan untuk sayur godog, ayam bakar, pepes, dan sambel goreng; dan (7) Bumbu dasar orange digunakan untuk kare, gulai, rendang.

Bumbu giling pasta racikan ada berbagai macam, yaitu seperti bumbu gulai, kare, rendang, rawon, dan opor. Bumbu tersebut kebanyakan dijual dalam bentuk kemasan dan siap untuk digunakan, sehingga ada kemungkinan penggunaan pengawet. Pengawet tersebut ada yang berasal dari alami maupun sintesis kimia. Pengawet alami itu sendiri sudah berasal dari rempah-rempah bumbu maupun garam.

Rempah yang digunakan dalam kegiatan pengolahan makanan sehari-hari dengan konsentrasi biasa tidak dapat mengawetkan makanan, tetapi pada

konsentrasi tersebut rempah dapat membantu bahan lain yang dapat mencegah pertumbuhan mikroorganisme pada makanan. Efek penghambatan pertumbuhan mikroorganisme oleh suatu jenis rempah bersifat khas. Beberapa jenis rempah yang diketahui memiliki aktivitas antimikroba yang cukup kuat adalah bawang merah (Johnson dan Vaughn, 1969), bawang putih (Thomas, 1984), cabe merah (Dewanti, 1984), jahe (Jenie *et al.*, 1992), kunyit (Suwanto, 1983), dan lengkuas (Rahayu, 1999). Garam dapat mempengaruhi besarnya aktivitas air dalam pangan, sehingga penambahan garam pada bumbu akan berperan sebagai penghambat selektif pada mikroorganisme tertentu (Rahayu, 2000:42).

### **2.5.2 Standar Mutu Bumbu Giling**

Karakteristik pangan, lingkungan penyimpanan pangan, karakteristik mikroorganisme, dan efek pengolahan pangan menentukan jumlah dan jenis mikroorganisme dalam pangan (Sopandi dan Wardah, 2014:24). Mikroorganisme dalam pangan dapat bersifat merugikan atau menguntungkan. Mikroorganisme tersebut dalam banyak kasus tidak menyebabkan kerusakan pangan dan tidak merugikan ketika dikonsumsi bersama pangan, meski pada beberapa kasus mikroorganisme dapat menyebabkan kerusakan dan penyakit bawaan pangan.

Standar batas maksimum cemaran mikroba dalam pangan disusun dan dirumuskan oleh panitia teknis 67-02 bahan tambahan pangan dan kontaminan pada tahun 2008. Menurut BSN (2009:5) cemaran mikroba adalah mikroba yang keberadaannya dalam pangan pada batas tertentu dapat menimbulkan risiko terhadap kesehatan. Batas maksimum secara kuantitatif dinyatakan sebagai jumlah maksimum mikroba yang diizinkan terdapat dalam pangan yang

dinyatakan dalam angka atau jumlah koloni per satuan berat atau volume, dan secara kualitatif dinyatakan sebagai negatif per satuan berat atau volume tertentu.

Hal tersebut direvisi oleh peraturan kepala BPOM RI Nomor 16 tahun 2016 tentang kriteria mikrobiologi dalam pangan olahan. Kriteria mikrobiologi adalah ukuran manajemen risiko yang menunjukkan keberterimaan suatu pangan atau kinerja proses atau sistem keamanan pangan yang merupakan hasil dari pengambilan sampel dan pengujian mikroba, toksin atau metabolitnya atau penanda yang berhubungan dengan patogenisitas atau sifat lainnya pada titik tertentu dalam suatu rantai pangan.

Adapun kriteria mikrobiologi kategori bumbu giling berdasarkan PerKa BPOM RI Nomor 16 tahun 2016 adalah sebagai berikut.

**Tabel 2.1. Kriteria Mikrobiologi dalam Pangan Olahan**

Kategori Pangan	Jenis Pangan Olahan	Jenis Mikroba	N	c	M	M	Metode Analisis
12.2.2	Bumbu dan Kodimen	ALT	5	2	$10^3$ koloni/g	$10^4$ koloni/g	ISO 4833-1:2013
		Enterobacteriaceae	5	2	$10^2$ koloni/g	$10^3$ koloni/g	ISO 21528-2:2004
		<i>Salmonella</i>	5	0	Negatif/25g	NA	ISO 6579:2002
		<i>Clostridium pefringens</i>	5	2	$10^2$ koloni/g	$10^3$ koloni/g	SNI ISO 7937:2012
		Kapang dan khamir	5	2	$10^2$ koloni/g	$10^3$ koloni/g	SNI ISO 21527-1:2012

Keterangan:

n = jumlah sampel yang diambil dan dianalisis

c = jumlah yang boleh melampaui batas mikroba untuk menentukan keberterimaan suatu produk pangan

m/M = batas mikroba

ALT = angka lempeng total

(Sumber: PerKa BPOM RI, 2016)

Hal tersebut juga diatur oleh BSN (2009:13) dalam SNI-7388:2009 tentang batas maksimum cemaran mikroba dalam pangan seperti tabel di bawah.

**Tabel 2.2. Batas Maksimum Cemaran Mikroba dalam Pangan**

No. kat pangan	Kategori pangan	Jenis cemaran mikroba	Batas maksimum
12.2	Herba, rempah-rempah, bumbu dan kodimen (misalnya bumbu mi instan)	ALT (30°C, 72 jam)	1 x 10 <sup>6</sup> koloni/g
		<i>Coliform</i>	1 x 10 <sup>2</sup> koloni/g
		APM <i>Escherichia coli</i>	< 3/g
		<i>Salmonella</i> sp.	negatif/25 g
		<i>Bacillus cereus</i>	1 x 10 <sup>4</sup> koloni/g
	Herba dan rempah-rempah	<i>Clostridium perfringens</i>	1 x 10 <sup>3</sup> koloni/g
		Kapang dan khamir	2 x 10 <sup>4</sup> koloni/g
		ALT (30°C, 72 jam)	1 x 10 <sup>4</sup> koloni/g
		<i>Coliform</i>	1 x 10 <sup>2</sup> koloni/g
		APM <i>Escherichia coli</i>	<3/g
		<i>Salmonella</i> sp.	Negatif/25 g
		<i>Bacillus cereus</i>	1 x 10 <sup>2</sup> koloni/g
		<i>Clostridium perfringens</i>	1 x 10 <sup>2</sup> koloni/g
		Kapang dan khamir	2 x 10 <sup>2</sup> koloni/g
	Kodimen dan bumbu lainnya	ALT (30°C, 72 jam)	1 x 10 <sup>4</sup> koloni/g
		<i>Coliform</i>	1 x 10 <sup>2</sup> koloni/g
		APM <i>Escherichia coli</i>	<3/g
		<i>Salmonella</i> sp.	Negatif/25 g
		<i>Bacillus cereus</i>	1 x 10 <sup>2</sup> koloni/g

(Sumber: BSN, 2009)

## 2.6 Hubungan Analisis Mikrobiologi dengan Bumbu Giling

Bumbu giling merupakan salah satu jenis pangan yang banyak digunakan masyarakat karena mudah dan praktis. Bumbu giling termasuk salah satu contoh bahan makanan yang mengandung nutrisi yang dibutuhkan oleh organisme. Hal tersebut menyebabkan bumbu giling dapat menjadi medium pertumbuhan dan perkembangan yang baik bagi berbagai macam mikroorganisme.

Bumbu giling terbuat dari berbagai rempah-rempah. Beberapa jenis rempah-rempah merangsang aktivitas mikroorganisme, sedangkan jenis lain menunjukkan aksi antibakteri. Pengaruh pengawetan pada beberapa rempah ditingkatkan oleh kandungan antioksidan di dalamnya. Proses pembuatan bumbu giling cukuplah panjang, mulai dari proses produksi, distribusi, dan penyimpanan.

Populasi mikroorganisme dapat meningkat pada kondisi tertentu yang mungkin terjadi pada proses pembuatan, distribusi, sampai penyimpanan bumbu giling.

Menurut Sopandi dan Wardah (2014:66), mikroorganisme yang paling penting pada bumbu adalah spora kapang, *Bacillus*, dan *Clostridium* spp. Bakteri *Micrococci*, *Enterococci*, khamir, dan beberapa patogen seperti *Salmonella* spp., *Staphylococcus aureus*, dan *B.cereus* ditemukan dalam bumbu atau kodimen. Adanya berbagai kemungkinan tersebut dapat dijadikan penguat untuk dilakukan analisis mikrobiologi untuk melihat mutu suatu pangan. Analisis mikrobiologi adalah penghitungan jumlah mikroorganisme dan pengidentifikasian mikroorganisme yang terdapat dalam suatu pangan, yaitu bumbu giling. Jumlah mikroorganisme yang terdapat dalam bumbu giling tersebut tidak boleh melebihi ambang batas normal agar bumbu giling tersebut layak untuk dikonsumsi dan terhindar dari kemungkinan kerusakan pangan serta keracunan pangan.

Menurut Trihendrokesowo, dkk (1989:136) umumnya rempah yang telah diolah (bumbu giling) diperiksa dengan memakai prosedur untuk angka kuman secara aerob, jamur, ragi, dan bakteri *Coliform*. Suatu bumbu giling jika terdapat *Coliform*, maka kandungan *Escherichia coli* ditentukan. Penyimpanan rempah (termasuk bumbu giling) yang tidak sehat, maka adanya *Salmonella* dan *Shigella* harus ditentukan. Analisa tambahan mungkin diperlukan oleh pengolah makanan, seperti pemeriksaan terhadap *Staphylococcus aureus*, bakteri anaerob pembentuk spora, enterokokus, *Lactobacillus*, dan *B. cereus*.

## 2.7 Tinjauan tentang Sumber Belajar Biologi

Hakikatnya, sumber belajar yang sesungguhnya adalah banyak dan terdapat di mana-mana, mulai dari di sekolah sampai di pusat kota. Djamarah dan Aswan (2010:122) mengelompokkan sumber-sumber belajar menjadi 5 kategori, yaitu: (1) Manusia; (2) Buku/perpustakaan; (3) Media masa; (4) Alam lingkungan; dan (5) Media pendidikan. Sumber belajar lain yang bisa digunakan dalam proses pembelajaran dapat dikategorikan sebagai berikut: (1) Tempat/lingkungan; (2) Orang/narasumber; (3) Objek; dan (4) Bahan cetak dan non cetak (Haqqi, 2016:39). Berdasarkan hal tersebut, maka sumber belajar dapat didefinisikan sebagai segala sesuatu yang dapat dipergunakan untuk memberikan pengalaman, menambah ilmu pengetahuan yang mengandung hal-hal baru (perubahan), menambah keterampilan, dan membantu siswa dalam proses pembelajaran serta mengoptimalkan hasil belajar.

Biologi sebagai bagian integral dari ilmu pengetahuan alam, memberikan berbagai pengalaman belajar dan keterampilan proses *sains* untuk memahami konsep yang berkaitan dengan kehidupan makhluk hidup. Sumber belajar biologi merupakan segala sesuatu baik benda maupun gejalanya yang dapat dipergunakan untuk memperoleh pengalaman dalam rangka pemecahan permasalahan biologi tertentu (Suhardi, 1988:2). Hal tersebut identik pada proses kegiatan ilmiah yang mengembangkan keterampilan proses *sains* yang dilakukan oleh peserta didik melalui berbagai aktivitas seperti mengamati, menganalisa, melakukan percobaan untuk menemukan sendiri konsep-konsep yang berkaitan dengan kehidupan manusia.



### 2.7.1 Pemanfaatan Hasil Penelitian sebagai Sumber Belajar Biologi

Pemanfaatan hasil penelitian sebagai sumber belajar dapat dikembangkan dalam tiga bentuk. Bentuk pertama adalah pemanfaatan proses dan produk sebagai sumber belajar untuk pembelajaran pada kompetensi dasar tertentu, kelas tertentu, dan jenjang sekolah tertentu. Bentuk kedua adalah pemanfaatan produk penelitian sebagai sumber belajar dalam wujudnya sebagai buku. Buku yang dimaksud adalah buku ajar bagi siswa. Sebagai buku ajar, peruntukannya dapat bersifat sebagai buku pengayaan atau buku bacaan populer. Bentuk ketiga adalah pemanfaatan produk penelitian sebagai media pembelajaran yang diwujudkan dalam bentuk komik (cergam), brosur, media pembelajaran interaktif, atau bentuk lainnya (Nurwidodo, *et al.*, 2016:60).

Tidak semua objek penelitian dapat digunakan sebagai sumber belajar, sehingga perlu adanya pengkajian yang mendalam dan sistematis melalui penelitian. Menurut Djohar (1987) dalam Nurwidodo *et al.* (2016:61), menjelaskan bahwa pemanfaatan objek menjadi sumber belajar yang efektif perlu memperhatikan syarat-syarat berikut: (1) Kejelasan potensinya; (2) Kejelasan sasarannya; (3) Kesesuaian dengan tujuan belajar; (4) Kejelasan informasi yang dapat diungkap; (5) Kejelasan pedoman eksplorasinya; dan (6) Kejelasan hasil yang diharapkan.

Hasil penelitian ini adalah proses dan produk ilmiah. Segi prosesnya, penelitian ini melibatkan kegiatan yang berpijak pada prosedur ilmiah yang meliputi observasi, merumuskan masalah, menentukan tujuan, merumuskan hipotesis, merencanakan penelitian, mengorganisasikan data, menganalisis, dan

membuat kesimpulan. Adapun dari segi produknya penelitian ini mampu mengungkap fakta, analisis fakta, mengembangkan konsep, prinsip dan hukum serta pemakaian terminologi dalam pengkomunisasi. Sumber belajar dari segi proses yang dapat dicapai berkaitan dengan pengembangan keterampilan belajar biologi, sedangkan dari segi produk berkaitan dengan kepentingan pengembangan fakta dan konsep keilmuannya (Nurwidodo *et al.*, 2016:64).

## 2.8 Kerangka Konseptual

Pasar Besar Malang merupakan pusat perdagangan terlengkap yang memiliki aktivitas yang cukup padat dan sibuk. Lantai dasar Pasar Besar Malang merupakan tempat berkumpul para pedagang kebutuhan pokok bahan pangan seperti bumbu giling. Bumbu giling yang dijual di Pasar Besar Malang terdapat dua jenis yaitu bumbu giling kemasan produksi pabrik dan bumbu giling *home industry*.

Bumbu giling kemasan pada umumnya dijual oleh pedagang daging dan daging ayam, pedagang sayur, dan pedagang sembako. Adapun bumbu giling *home industry* dijual sendiri oleh pedagang bumbu giling dengan kondisi tempat jualan yang berdekatan dengan penjual daging dan daging ayam. Pedagang tersebut selain menjual bumbu giling buatannya sendiri juga menjual bumbu giling kemasan produk pabrik.

Bumbu giling *home industry* ditempatkan pada wadah plastik. Beberapa pedangan ada yang menutup wadah bumbu giling jualannya dan ada pula pedagang yang berjualan dengan wadah tanpa tutup. Bumbu giling tersebut baru

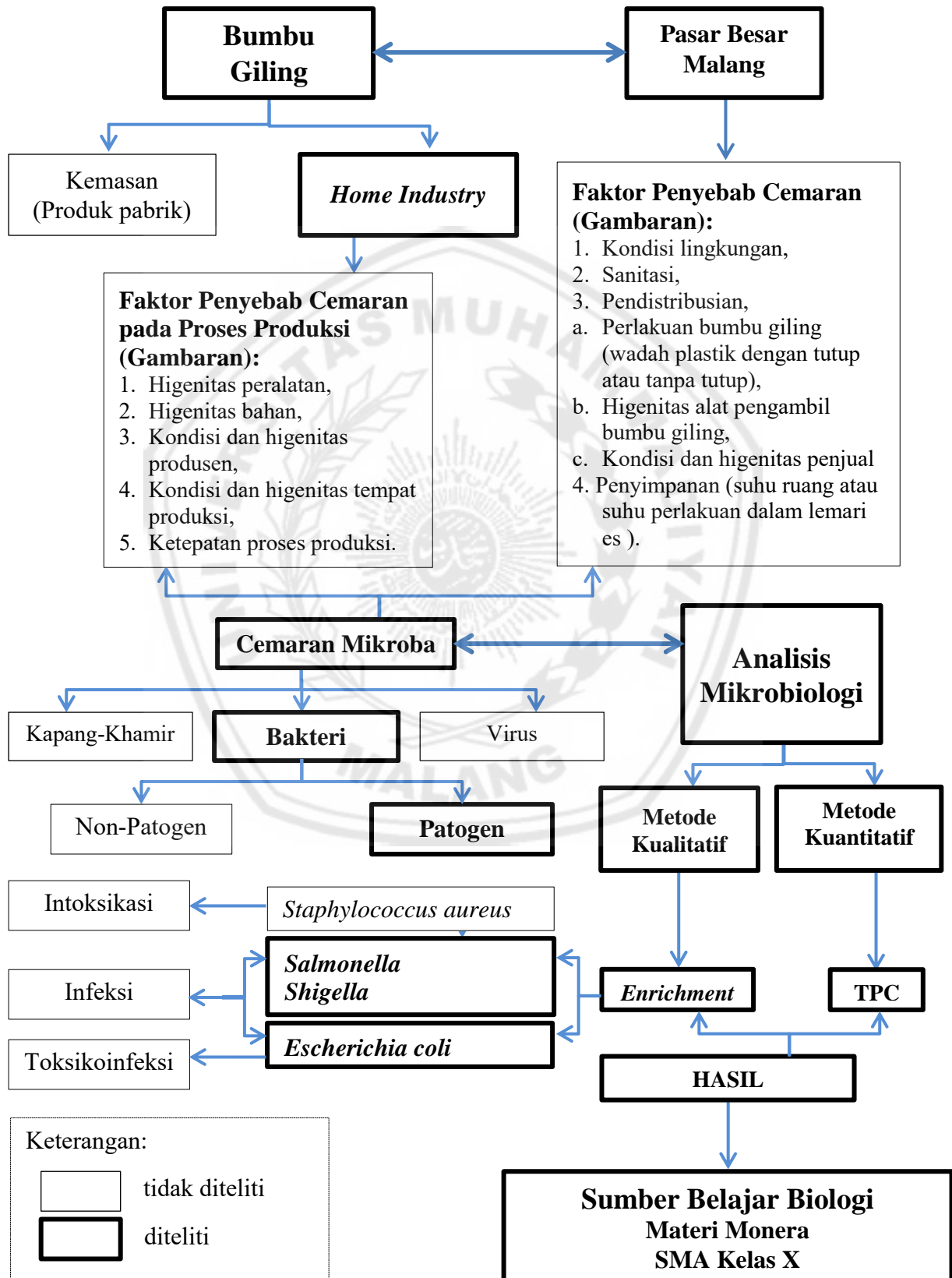
di pindahkan ke dalam plastik ketika ada yang membeli. Bumbu giling diproduksi dalam jumlah banyak dan akan disimpan di dalam kios apabila tidak habis.

Kondisi pasar terlihat cukup lembab, sanitasi kurang baik, dan kondisi antar kios pedagang satu dengan yang lain sangatlah berdekatan dan bercampur. Bahkan ada beberapa pedagang yang memasarkan dagangannya di sekitaran samping luar pasar yang berbatasan langsung dengan tempat parkir kendaraan. Selain faktor distribusi dan penyimpanan bumbu giling tersebut, proses praproduksi dan produksi juga dapat meningkatkan tingkat cemaran mikroorganisme, khususnya bakteri.

Bakteri yang sering ditemukan dalam bumbu giling menurut penelitian terdahulu adalah *Escherichia coli*, *Salmonella sp.*, dan *Shigella sp.* Bakteri tersebut merupakan indikasi cemaran mikroorganisme dalam pangan dan dapat menyebabkan kerusakan pangan sampai permasalahan kesehatan. Bakteri tersebut dapat diketahui dan diidentifikasi menggunakan metode kuantitatif yaitu *total plate count* (TPC) dan metode kualitatif (*enrichment*) dengan menggunakan media selektif *Salmonella Shigella Agar* (SSA) untuk pemeriksaan *Salmonella* dan *Shigella* serta media selektif *Eosin Methylene Blue Agar* (EMBA) untuk pemeriksaan *Escherichia coli*.

Hasil dari penelitian tersebut dapat dimanfaatkan sebagai sumber belajar biologi untuk SMA Kelas X materi Monera. Sumber belajar tersebut merupakan metode ilmiah dan prosedur ilmiah dari berbagai hasil kegiatan penelitian. Sumber belajar dari hasil penelitian ini juga diharapkan dapat memaksimalkan

pembelajaran biologi dengan berbagai kegiatan yang melibatkan pengalaman langsung yang memuat keterampilan proses *sains*.



Gambar 2.5 Kerangka Konseptual